Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 133-157

An Evaluation of Sustainability Analysis of Rainfed Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.)Production Systems in Iran

S.M.J. Esfahani[1*] and H. Javadi[2]

Received: 21-01-2020
Revised: 19-12-2020
Accepted: 27-02-2021
Available Online: 15-06-2022

How to cite this article:
Esfahani, S.M.J., and Javadi, H., 2022. An evaluation of sustainability analysis of rainfed wheat and barley production systems in Iran. Journal of Agroecology 14(1):133-157.
DOI:10.22067/agry.2021.20247.0

Introduction

Wheat and barley are important strategic crops that constitute the staple food of the world population including Iranian people. Given the role of these crops in the household food basket, food safety and self-sufficiency in the production of these crops can be an important and valuable step towards economic independence. Increasing agricultural production due to the use of chemical inputs causes serious damage to the environment. Therefore, any plan and policy to increase production, in addition to technical and economic aspects, must also be analyzed from an environmental perspective. Considering the importance of this issue, the present study aims to investigate the sustainability of rainfed wheat and barley production using the multifunctional ecological footprint (EF). The results can provide useful information to agricultural planners and policymakers.

Materials and Methods

To analyze sustainability, data from Agricultural Statistics of 2017 and the statistics published in domestic databases were used. In the agricultural sector, the footprint indicator should reflect the type of agricultural operations and land use. Accordingly, the EF is divided into two parts: direct and indirect parts of the footprint. The direct footprint indicates the amount of land, buildings, forests, and rangelands for crop production that is defined as the amount of bio-productive area. The indirect footprint represents the amount of bio-productive land used to absorb the amount of CO_2 emitted during crop production and agricultural operations.

Other aspects and benefits of EF are the use of different functional units that can provide researchers with broader analytical backgrounds. For this purpose, evaluating EF based on a ton of crops, 10,000 Rials income and benefits in the field were also calculated using divided EF by each of the different functional units.

Results and Discussion

Concerning rainfed wheat production, Alborz, Mazandaran, and Golestan provinces had the highest emissions by 1632, 1140 and 860 kgCO_2eq, respectively and Sistan and Baluchestan, South Khorasan and Qom provinces had the lowest emissions. Concerning rainfed barley production, Markazi, Hamedan, and Mazandaran provinces emitted 989, 869, and 775 kg CO_2eq, respectively, so that they were ranked first whereas Sistan and Baluchestan, South Khorasan and Isfahan provinces with 236, 263 and 298 kg CO_2eq had the lowest emissions. EF for rainfed wheat production ranges from 2.57 in South Khorasan to 2.87 in Alborz. EF for rainfed barley ranges from 2.57 in South Khorasan to 2.73 in Markazi. With respect to rainfed wheat and barley production, on-farm emissions had a higher share in indirect EF than off-farm emissions. EF for one ton of rainfed wheat varied

1- Assistant Professoro, Agricultural Planning, Economics and Rural Development Research Institute, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author, Email: Jesfahani@gmail.com

from 0.75 Gha in Mazandaran province to 10.85 Gha in South Khorasan province. EF yield of rainfed barley production indicates that Fars, Isfahan, and South Khorasan provinces are in the most unsustainable conditions for producing one ton of rainfed barley.

The results of correlation between EF and yield EF and benefit revealed a significant relationship between EF of rainfed wheat and barley in provinces at the 1% probability level. Also, there was a significant relationship between EF and yield EF in rainfed wheat at the 5% probability level, but this relation was not significant for rainfed barley. Also, the lack of a significant relationship between EF yield and EF profit shows that an increase in crop yield would not necessarily lead to an increase in the benefit of rainfed wheat and barley.

Conclusion

The comparison of EF indices and correlation between them showed that increasing inputs in rainfed wheat could increase yield, but it had no effect on barley yield enhancement. On the other hand, no statistically significant relationship between EF yield and benefit showed that yield increase does not necessarily lead to higher profitability. Therefore, cost management is one of the key elements in increasing the profitability of rainfed cereal production at the national level. Therefore, to increase the sustainability of rainfed cereal production at the national level, apart from planning to increase yield, policy-making for efficient use of resources and reducing production costs should be considered a key basis in production planning and policy-making.

Keyword: Ecological footprint, Greenhouse gas emissions, global hectare

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

تحلیل پایداری نظام تولید گندم (*Triticum aestivum* L.)و جو (*Hordeum vulgare* L.) دیم در ایران

سید محمد جعفر اصفهانی[1] * و حامد جوادی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۹

اصفهانی، س.م.ج.، و جوادی، ح.، ۱۴۰۱. تحلیل پایداری نظام تولید گندم (*Triticum aestivum* L.)و جو (*Hordeum vulgare* L.) دیم در ایران. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۱۵۷-۱۳۳.

چکیده

در کنار افزایش تولید، توجه به اثرات زیست‌محیطی و به حداقل رساندن آن نیز از مسائل مهم و ضروری در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری بخش کشاورزی است. در این مطالعه، پایداری تولید گندم و جو دیم که بخش اعظم سطح زیر کشت غلات دیم کشور را به خود اختصاص می‌دهد با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیک چند کارکردی برای سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵ بررسی شد. برای انجام تحلیل پایداری از داده‌های موجود در منابع اطلاعاتی شامل سامانه وزارت جهاد کشاورزی، آمارنامه کشاورزی و نیز آمار و اسناد انتشار یافته در بانک‌های اطلاعاتی داخلی و خارجی استفاده شد. در این تحقیق، زمین بهره‌ور زیستی به‌عنوان شاخص ردپای اکولوژیک مستقیم و میزان زمین لازم برای جذب مواد زائد حاصل از فرآیند تولید به‌عنوان ردپای غیرمستقیم در نظر گرفته شد. پس از محاسبه شاخص ردپای اکولوژیک برای یک هکتار مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو دیم (*Hordeum vulgare* L.)، شاخص ردپا بر مبنای واحدهای مختلف کارکردی، عملکرد، محصول و سود محاسبه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که دامنه شاخص ردپای اکولوژیک تولید یک هکتار گندم دیم بین ۲/۵۷ در استان خراسان جنوبی تا ۲/۸۷ هکتار جهانی در استان البرز بود و برای تولید یک هکتار جو دیم در کشور از ۲/۵۷ در استان‌ها خراسان جنوبی تا ۲/۷۳ هکتار جهانی در استان مرکزی متغیر بود. شاخص ردپای اکولوژیک بر مبنای عملکرد نشان داد که تولید یک تن گندم‌دیم در استان‌های مازندران، اردبیل و گلستان در وضعیت پایدارتری نسبت به سایر استان‌ها قرار دارد. همچنین پایداری زیست‌محیطی تولید یک تن جو دیم استان‌های مازندران، البرز و گیلان در وضعیت مطلوب‌تری در سطح کشور قرار دارد. نتایج همبستگی نشان داد که بین شاخص ردپای اکولوژیک و ردپای اکولوژیک عملکرد در تولید گندم دیم رابطه معنی‌داری وجود دارد، ولی این رابطه در مورد جو دیم مشاهده نشد. همچنین رابطه معنی‌داری بین ردپای اکولوژیک بر مبنای عملکرد و سود مشاهده نشد که عدم مدیریت هزینه در تولید دو محصول گندم و جو دیم را نشان می‌دهد. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد نهاده‌های شیمیایی در این استان‌ها تنها سبب افزایش آلایندگی شده و افزایش سودآوری را به دنبال نداشته است، بنابراین توصیه می‌شود با توجه به شرایط اقلیمی این مناطق، میزان بهینه کاربرد نهاده‌های کشاورزی در بین کشاورزان پیشنهاد و ترویج شود.

واژه‌های کلیدی: انتشار گازهای گلخانه‌ای، ردپای اکولوژیک، هکتار جهانی

۲- استادیار گروه اقتصاد منابع طبیعی و محیط زیست، موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی، تهران، ایران.
۲- استادیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Jesfahani@gmail.com)

DOI:10.22067/agry.2021.20247.0

مقدمه

پس از انقلاب صنعتی در اواسط قرن هجدهم، اقتصاد جهانی رشد سریعی را تجربه کرد که از پیامدهای آن می‌توان به افزایش جمعیت، رشد شهرنشینی و استفاده بیش از حد از منابع طبیعی اشاره کرد. در دهه ۱۹۷۰ نگرانی در مورد مسائل زیست‌محیطی سبب شده تا فرآیند رشد اقتصادی تحت تأثیر قرار گیرد. در این زمینه انتشار گزارش یافته‌های رومن کلاب در سال ۱۹۷۲ با عنوان محدودیت رشد بذر اولیه توجه به توسعه پایدار و تخریب‌های زیست‌محیطی حاصل از استفاده بی‌رویه منابع طبیعی را در دل اندیشمندان و نهادهای ملی و بین‌المللی کاشت (Colombo, 2001). پس از آن گزارش برتلند درسال ۱۹۸۷ تأکید کرد که توسعه آینده بر مبنای حفاظت و توسعه محیط‌زیست استوار است و این نگرانی در اجلاس ریو در سال ۱۹۹۲، پروتکل کیوتو در سال ۱۹۹۷، اجلاس جهانی توسعه پایدار در سال ۲۰۰۲ و توافق پاریس در سال ۲۰۱۵ ادامه یافت که محور اساسی تمامی این نشست‌ها و اجلاس‌ها توسعه پایدار بود (Toth & Szigeti, 2016). ساده‌ترین تعریف از پایداری را می‌توان به این صورت ارائه کرد که پایداری راهی است که حیات بدون وقفه ادامه یابد (Bilgili et al., 2019). انتشار آلاینده‌هایی مثل گازهای گلخانه‌ای و تخریب منابع طبیعی امروزه به بزرگ‌ترین چالش توسعه پایدار جهانی تبدیل شده است (Zafar et al., 2019). توجه به تغییرات آب و هوایی و آلودگی‌های زیست‌محیطی، توجه اقتصاددانان و سیاست‌گذاران را به اثرات رشد اقتصادی بر محیط‌زیست جلب کرد و سبب شد نگاه آنان از رشد اقتصادی به رشد اقتصادی پایدار و دوستدار محیط‌زیست تغییر کند (Alam et al., 2016). امروزه پایداری و مدیریت منابع کره خاکی به‌عنوان یک مسئله اساسی مورد توجه تصمیم گیران و تصمیم سازان قرار داشته و یک نیاز فوری برای توسعه مکانیسم‌ها، سیاست‌ها و راهبردها برای تحقق این امر احساس می‌شود (Danish Patterson et al., 2017 ; et al., 2019).

پایداری برای تعادل اکولوژیکی به دنبال یافتن پاسخ به سؤالات زیر است؟ ۱- نظام طبیعی باید چگونه عمل کند؟ ۲- چگونه باید تنوع زیستی محافظت شود و ۳- تولید باید چگونه باشد؟ که پاسخ به این سؤالات ممکن است شامل معیارهای چندگانه اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی باشد. واضح‌ترین پاسخ به این سؤالات می‌تواند حفظ بهره‌وری منابع انرژی تجدیدپذیر و سیستم‌های بیولوژیکی جهان باشد. ردپای اکولوژیک مفهومی است که این جنبه‌های پایداری را نمایش می‌دهد (WWF, 2012). ردپای اکولوژیک، زمین بهره‌ور زیستی که بشر برای تأمین و تهیه منابع تجدید پذیر مورد استفاده و همچنین ظرفیت جذب ضایعات تولید شده توسط فعالیت‌های انسانی نیازمند است را محاسبه می‌کند (Destek & Shina, 2020). بر این اساس یک جنبه جدید از بررسی ارتباط میان مصرف و منابع بشر ظهور می‌کند که تأثیر انسان و نوع رفتار آن‌ها بر محیط‌زیست را به‌صورت واضح‌تری نمایان می‌سازد.

ردپای اکولوژیک به‌عنوان یک شاخص پویا، امکان بررسی تأثیر برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه بر پایداری منابع را برای سیاست‌گذاران فراهم می‌کند (Danish & Wang, 2019). از آنجا که ردپای اکولوژیک نشان‌دهنده میزان وابستگی بشر به نظام اکولوژیکی است، می‌تواند به‌عنوان یک شاخص بادوام برای تعیین میزان کیفیت محیط‌زیست مطرح شود (Galli et al., ; Moore et al., 2013 ; 2015). از منظر اهداف توسعه پایدار، شاخص ردپای اکولوژیک تنها شاخصی است که ظرفیت زیستی زمین را برای پایداری فعالیت‌های اقتصادی در نظر می‌گیرد (Rashid et al., 2018). شاخص ردپای اکولوژیک میزان ظرفیت زیستی لازم برای الگوی مصرف پایدار بشر را نشان داده و به‌صورت گسترده در مجامع علمی پذیرفته شده است (Aşıcı & Acar, 2018; Ulucak & Apergis, 2018; Bilgili & Ulucak, 2018). این شاخص نشان می‌دهد که چه مقدار منطقه زیستی برای تولید کلیه منابع مورد نیاز مردم و جذب انتشار CO_2 ناشی از مصرف مورد نیاز است (NFA, 2017). پس می‌توان از شاخص ردپای اکولوژیک به‌عنوان یک شاخص جامع یاد کرد که اثر فعالیت‌های انسان بر تخریب منابع زیست‌محیطی را نشان می‌دهد (Danish & Wang, 2019). شاخص ردپای اکولوژیک، مساحت واقعی لازم برای تولید محصول را بر حسب هکتار جهانی بیان می‌کند. بر این اساس انواع مختلف اراضی بر اساس میزان بهره‌وری آن‌ها با استفاده از عامل هم ارزی (EQF[1]) به هکتار جهانی تبدیل می‌شود. به‌عنوان مثال زمین‌های زراعی که در مقایسه با مراتع

1- Equivalence factors

بهره‌وری بیشتری دارند از ضریب تعادل بالاتری برخوردارند. عامل هم‌ارزی برای اراضی زراعی معادل ۲/۲ است که نشان می‌دهد که یک هکتار از اراضی زراعی به‌صورت میانگین جهانی ۲/۲ برابر بیشتر از یک هکتار جهانی تولید می‌کند (Koocheki et al., 2016).

محاسبه ردپای اکولوژیکی همراه با ظرفیت زیستی اطلاعات مفیدی را در مورد شدت بهره‌برداری از منابع و وضعیت پایداری محیطی فراهم می‌سازد، از این‌رو، در طی دو دهه اخیر موضوع بسیاری از مطالعات بوده است. نتایج تحقیقی به‌منظور بررسی روند تغییرات ردپای اکولوژیکی غذا در بازه زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۲ در ایران نشان داد که ردپای کل و ردپای غذای کشور در طی دوره مورد مطالعه به‌ترتیب به‌میزان ۳/۳ و ۲/۹ درصد در سال افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود با تداوم این روند تا سال ۱۴۰۴ شمسی به‌ترتیب به ۳/۳۴ و ۱/۰۵ هکتار جهانی به ازای هر نفر برسد. ظرفیت زیستی کشور در سال ۱۳۹۲ معادل ۰/۸۲ هکتار جهانی به ازای هر نفر به‌دست آمد که کمتر از ظرفیت زیستی جهان (۱/۸ هکتار جهانی بر نفر) و میانگین خاورمیانه و آسیای مرکزی (۰/۹۲ هکتار جهانی بر نفر) بود. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش کارایی مصرف منابع (شامل آب و نیتروژن) به‌میزان ۲۰ درصد نسبت به‌مقدار فعلی باعث بهبود شاخص خودکفایی و ردپای اکولوژیکی غذا در ایران خواهد شد (Nassiri Mahallati et al., 2019).

گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) از غلات مهم کشت شده در ایران محسوب شده و کاشت آن‌ها از سالیان پیش در بین کشاورزان مرسوم است. بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۳۹۵، سطح زیر کشت گندم در ایران ۵۴۳۷۸۰۴ هکتار بوده که حدود ۵۰ درصد سطح زیر کشت اراضی زراعی کشور را به خود اختصاص داده‌اند. از کل سطح زیر کشت گندم در ایران ۳۷/۶۱ درصد آبی و ۶۲/۳۹ درصد به‌صورت دیم کشت شده است. همچنین در این سال، سطح زیر کشت جو در ایران ۱۴۷۳۴۲۰ هکتار بود که ۴۲/۹۲ درصد آن به‌صورت آبی و ۵۷/۰۸ درصد به‌صورت دیم کشت شده است (Ahmadi et al., 2018). با توجه به مطالب فوق و سطح وسیع زیر کشت گندم و جو به‌ویژه کشت دیم این محصولات در اغلب استان‌ها و از طرفی، مطالعات اندک و پراکنده در خصوص وضعیت پایداری این محصولات در کشور، این تحقیق با هدف تحلیل پایداری نظام‌های تولید گندم و جو دیم در ایران با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیک چند کارکردی مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری اطلاعات: برای تحلیل پایداری بوم‌نظام‌های گندم و جو دیم کشور از داده‌های موجود در منابع اطلاعاتی شامل سامانه وزارت جهاد کشاورزی و آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و نیز آمار و اسناد انتشار یافته در بانک‌های اطلاعاتی داخلی و خارجی استفاده شد. با توجه به این که برای بررسی و محاسبه ردپای غیرمستقیم علاوه‌بر میزان کاربرد نهاده‌ها در بخش کشاورزی، باید میزان انتشار آلاینده‌های متناظر با هر نهاده نیز بررسی شود، نیاز است تا میزان انتشار آلاینده‌های متناظر با هر نهاده در دو بخش داخل و خارج مزرعه اندازه‌گیری شود. تعیین میزان آلاینده‌ها متناظر با هر نهاده به دو صورت مستقیم با انجام کار آزمایشگاهی در هر منطقه یا به‌صورت غیرمستقیم با استفاده از ضرایب استفاده شده در سایر متون علمی معتبر انجام می‌شود. از آنجا که اندازه‌گیری میزان انتشار آلاینده‌های متناظر با هر نهاده نیازمند کار آزمایشگاهی طولانی و مستقل است، در این مطالعه نیز طبق سایر متون علمی معتبر که در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای در نقاط مختلف ایران و جهان انجام شده است، از ضرایب متناظر با هر نهاده جهت تخمین میزان آلاینده‌های متناظر با هر نهاده استفاده شده است (Mohammadi et al., 2014; Esfahani et al., 2017; Karimi et al., 2018; Vafabakhsh et al., 2019).

شاخص ردپای اکولوژیک به دو بخش شاخص ردپای مستقیم و ردپای غیرمستقیم تقسیم می‌شود. ردپای مستقیم نشان‌دهنده میزان زمین زراعی، ساختمان، اراضی جنگلی و مراتع جهت تولید محصول تعریف می‌شود که به‌صورت مقدار زمین بهره‌ور زیستی نشان داده می‌شود. ردپای مستقیم توسط معادله ۱ محاسبه شد (Huijbregts et al., 2008).

$$EF_{direct} = \sum_{\alpha} A_{\alpha} . EQF_{\alpha} \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، A_a: نشان‌دهنده میزان زمین تصرف شده نوع a (زراعی، جنگلی، مرتع و ساختمان) و EQF_a: ضریب تعادل متناظر با هر نوع زمین نوع a را نشان می‌دهد. ضریب تعادل بهره‌وری نسبی میان انواع پهنه زمین و آب را نشان می‌دهد و با توجه به تفاوت پتانسیل بهره‌وری پهنه‌های مختلف زمین دارای مقدار متفاوت است

به‌عنوان مثال، زمین‌های زراعی در مقایسه با مراتع دارای فاکتور تعادل بزرگ‌تر هستند، زیرا بهره‌وری آن‌ها نسبت به مرتع بالاتر است (Monfreda et al., 2004). مقدار EQF برای انواع مختلف اراضی در جدول ۱ نشان داده شده است (González-Vallejo et al., 2015).

جدول ۱- ضرایب معادل مربوط به انواع مختلف کاربری اراضی

Table 1- Equivalence factor for different land uses

نوع کاربری زمین Type of land use	ضریب معادل Equivalence factor (Gha.ha^{-1})
زمین‌های زراعی Croplands	2.51
مراتع Rangelands	0.46
جنگل Forests	1.26
زمین‌های ساخته شده Built up lands	2.51

ردپای غیرمستقیم نشان‌دهنده زمین بهره‌ور[1] برای جذب میزان CO_2 تولید شده در طی دوره تولید محصول می‌باشد که به‌صورت معادله ۲ محاسبه می‌شود.

معادله (۲)

$$EF_{CO2} = M_{CO2}.\frac{1-F_{CO2}}{S_{CO2}}.EQF_f$$

در این رابطه، M_{CO2}: نشان‌دهنده میزان گازهای گلخانه‌ای تولید شده برحسب CO_2 در جریان تولید محصول، F_{CO2} بخشی از CO_2 که سالیانه توسط اقیانوس جذب می‌شود، S_{CO2} نرخ جذب CO_2 توسط زیست‌توده و EQF_f نیز نشان‌دهنده ضریب تعادل متناظر با اراضی جنگلی می‌باشد. میزان گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در جریان عملیات تولید محصول نیز بر اساس جدول ۲ محاسبه می‌شود. در این جدول انتشار گازهای گلخانه‌ای متناظر با هر نهاده در دو بخش انتشار خارج مزرعه و انتشار داخل مزرعه نشان داده شده است. انتشار داخل مزرعه آلاینده‌های زیست‌محیطی که در اثر کاربرد نهاده‌ها در داخل مزرعه تولید می‌شود را نشان می‌دهد، به‌عنوان مثال سوخت دیزل یا کاربرد کود نیتروژنه در مزرعه سبب انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌شود که در بخش انتشار داخل مزرعه نشان داده می‌شود. انتشار خارج از مزرعه، به انتشار آلاینده‌ها در فرایند تولید و بسته‌بندی سایر مراحل آماده‌سازی نهاده که خارج از مزرعه انجام می‌شود اشاره دارد (Esfahani et al., 2017; Nguyen & Hermansen, 2012).

از دیگر جنبه‌ها و مزیت‌های شاخص ردپای اکولوژیک استفاده از واحدهای کارکردی متفاوت است که می‌تواند زمینه‌های تحلیلی وسیع‌تری را برای محققان فراهم کند. بدین منظور، ارزیابی ردپای اکولوژیک بر پایه یک تن محصول، ۱۰۰۰۰ ریال درآمد و سود در مزرعه، به‌ترتیب به‌صورت معادله‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است (Cerutti et al., 2013).

معادله (۳)

$$EF_{product}\left(\frac{gha}{t}\right)=\frac{\left(EF_{direct}+EF_{CO_2}\right)}{Yield}$$

معادله (۴)

$$EF_{revenue}\left(\frac{gha}{10000R}\right)=\frac{\left(EF_{direct}+EF_{CO_2}\right)\times 10000}{Revenues}$$

معادله (۵)

$$EF_{Benefit}\left(\frac{gha}{10000R}\right)=\frac{\left(EF_{direct}+EF_{CO_2}\right)\times 10000}{Benefit}$$

در این معادله‌ها، $EF_{product}$: ردپای عملکرد، EF_{direct}: ردپای مستقیم، EF_{CO2}: ردپای غیرمستقیم، Yield: میزان تولید دانه برحسب تن، $EF_{revenue}$: ردپای درآمد، Revenue: درآمد محصول، $EF_{benefit}$: ردپای سود و Benefit: سود محصول (درآمد منهای هزینه) می‌باشد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل با استفاده از نرم‌افزار Excel و SPSS انجام شد. به‌منظور بررسی ارتباط آماری میان شاخص ردپای اکولوژیک از جنبه‌های مختلف کارکردی، با توجه به مقیاس فاصله‌ای داده‌ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد (Naderi Mahdei et al., 2015).

1- Bioproductive land areas

جدول ۲- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های کشاورزی

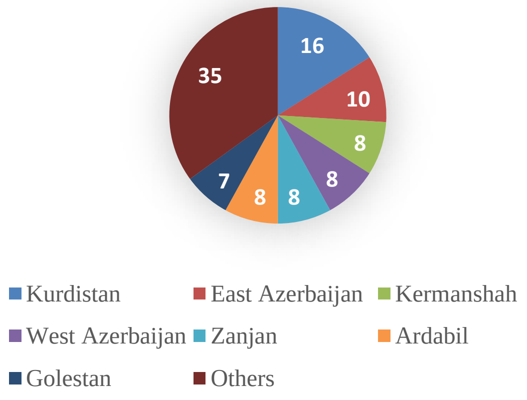
Table 2 - Greenhouse gas emission coefficients of agricultural inputs

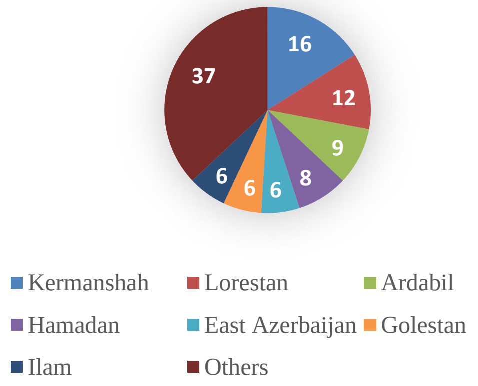
نهاده Inputs	ضریب انتشار (kg CO_2 eq.unit^{-1})	منبع Reference
	الف- انتشار خارج از مزرعه (نهفته در نهاده‌ها) a- Off-farm emissions (embedded in inputs)	
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3	Nguyen & Hermansen (2012)
کود فسفات Phosphorus fertilizer	1	Nguyen & Hermansen (2012)
حشره‌کش Pesticide	6.3	Hoshyar et al., 2015
علف‌کش Herbicide	3.9	Hoshyar et al., 2015
سوخت دیزل Diesel fuel	0.016 kg CO_2 eq. MJ^{-1} diesel ×36.4 MJ.L^{-1} Diesel	Mohammadi et al., 2014
الکتریسیته Electricity	0.8	Mohammadi et al., 2014
	ب- انتشار داخل مزرعه b- In-Farm emissions	
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	(0.01 kg N_2O-N/kg N) 4.7	Nguyen & Hermansen (2012)
کود حیوانی Manure fertilizer	0.3 kg CO_2eq. MJ^{-1} FMY MJ.kg^{-1} FMY 0.097	Nguyen & Hermansen (2012)
سوخت دیزل Diesel fuel	36.4 kg CO_2eq. MJ^{-1} diesel× 0.074 MJ.L^{-1} diesel	Nguyen & Hermansen (2012)

نتایج و بحث

بر اساس نتایج درصد توزیع سطح زیر کشت گندم دیم در استان‌های مختلف کشور در سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵، بیشترین سطح زیر کشت گندم دیم مربوط به استان‌های کردستان و آذربایجان شرقی بود که به‌ترتیب ۱۶ و ۱۰ درصد از کل سطح زیر کشت گندم دیم ایران را شامل شده بودند. همچنین استان‌های کرمانشاه، آذربایجان غربی، زنجان و اردبیل با هشت درصد و استان گلستان با هفت درصد از کل سطح زیر کشت گندم دیم در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۱). همچنین بیشترین عملکرد گندم دیم از استان‌های مازندران، اردبیل و گلستان حاصل شد و استان خراسان جنوبی کمترین عملکرد تولید گندم دیم را داشت (جدول ۳).

میانگین نهاده‌های مورد استفاده برای تولید یک هکتار گندم دیم در استان‌های مختلف کشور نشان داد که بیشترین میزان بذر مصرفی از استان‌های سمنان و مازندران و کمترین آن از خراسان جنوبی گزارش شده است (جدول ۳). مصرف کود ازته در استان‌های مازندران و البرز بیش از سه برابر میانگین کشوری گزارش شده است (جدول ۳). میانگین مصرف کود فسفر در کشور ۲۶ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است، مصرف استان‌های البرز، مازندران و کرمان بالاتر از ۷۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. کود پتاسیم نیز در استان‌های البرز، مازندران، سمنان، خوزستان و گیلان بالاتر از میانگین کشوری مصرف شده است. بیشترین میزان مصرف سموم شیمیایی نیز در استان‌های مازندران، گلستان، کرمانشاه و لرستان مشاهده شده است و مصرف این نهاده در سیستان و بلوچستان، البرز، خراسان جنوبی و رضوی در حد بسیار ناچیز یا صفر گزارش شده است. بیشترین میزان مصرف کود حیوانی از استان البرز و کمترین آن از استان مرکزی حاصل شد و استان‌های سیستان و بلوچستان، تهران، قزوین، خراسان رضوی و جنوبی جهت تولید گندم دیم از کود حیوانی استفاده نکردند (جدول ۳).





شکل ۱- توزیع سطح زیر کشت گندم دیم (سمت راست) و جو دیم (سمت چپ) در استان‌های مختلف
Fig. 1- Distribution of dryland wheat (right) and dryland barley (left) in different provinces

بر اساس نتایج درصد توزیع سطح زیر کشت جو دیم در استان‌های مختلف کشور در سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵، بیشترین سطح زیر کشت جو دیم مربوط به استان‌های کرمانشاه، لرستان، اردبیل و همدان بود که به‌ترتیب ۱۶، ۱۲، ۹ و ۸ درصد از کل سطح زیر کشت جو دیم ایران را شامل شده بودند. همچنین استان‌های آذربایجان شرقی، گلستان و ایلام با شش درصد از کل سطح زیر کشت جو دیم در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۱). بیشترین عملکرد جو دیم از استان مازندران با ۲۵۳۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و پس از آن استان‌های البرز و گیلان قرار داشتند.

میانگین نهاده‌های مورد استفاده برای تولید یک هکتار جو دیم در استان‌های مختلف کشور نشان داد که بیشترین میزان بذر مصرفی از استان‌های مازندران و سمنان و کمترین آن از استان‌های سیستان و بلوچستان، اصفهان و خراسان جنوبی گزارش شده است (جدول ۴). بیشترین میزان مصرف کودهای شیمیایی در استان‌های مازندران، مرکزی، کهکیلویه و بویر احمد و گیلان مشاهده شد (جدول ۴). استان‌های مازندران، کرمانشاه، لرستان، همدان و چهارمحال و بختیاری نسبت به میانگین کشوری، سموم شیمیایی بیشتری برای تولید یک هکتار جو دیم استفاده کردند (جدول ۴).

جدول ۳- میانگین عملکرد و مصرف نهاده‌های گندم دیم در استان‌های کشور

Table 3- Average yield and consumption of inputs in dryland wheat in the provinces of the country

استان Province	عملکرد Yield	بذر Seed	کود نیتروژن N fertilizer	کود فسفر P fertilizer	کود پتاسیم K fertilizer	حشره‌کش‌ها Insecticides	قارچ‌کش‌ها Fungicides	علف‌کش‌ها Herbicides	کود حیوانی Cow manure $(t.ha^{-1})$	سوخت دیزل Diesel $(L.ha^{-1})$
	$(kg.ha^{-1})$									
مرکزی Markazi	936	110.10	68.16	34.75	-	0.37	0.06	0.26	0.0127	166.18
گیلان Gilan	1250	126.55	89.45	46.25	1.71	0.01	0.09	-	0.0927	89.34
مازندران Mazandaran	3701	196.74	171.45	76.20	21.23	0.40	0.91	1.20	0.1433	153.52
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	1098	145.47	57.16	28.74	-	0.03	0.04	0.14	0.0515	121.00
آذربایجان غربی West Azerbaijan	1415	156.08	40.55	24.46	0.63	0.16	0.03	0.44	0.1076	135.03
کرمانشاه Kermanshah	913	165.35	45.91	33.25	0.03	0.59	-	0.77	0.0319	141.61
خوزستان Khuzestan	714	143.37	44.54	17.72	2.11	0.03	0.03	0.28	0.0219	118.61
فارس Fars	487	145.90	39.02	13.39	-	0.03	0.02	0.04	0.0232	107.92
کرمان Kerman	1497	177.89	84.21	74.73	-	-	0.22	0.11	0.1316	132.48
اصفهان Isfahan	773	98.41	45.39	15.18	-	0.04	0.06	0.13	0.1609	112.06
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	783	116.66	-	-	-	-	-	-	-	62.00
کردستان Kurdistan	883	150.87	46.40	16.39	0.04	0.17	0.16	0.28	0.204	140.90
همدان Hamadan	689	128.43	61.02	28.38	-	0.38	0.07	0.15	0.0786	182.20
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	1141	154.36	103.84	24.07	-	0.08	0.09	0.48	0.137	100.85
لرستان Lorestan	1224	168.56	81.29	42.31	0.21	0.32	0.04	0.74	0.2684	139.83
ایلام Ilam	557	174.86	42.64	27.00	-	0.07	-	0.41	0.329	127.52
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	1111	137.88	108.51	61.13	-	0.15	0.01	0.38	0.2656	92.79
زنجان Zanjan	915	114.73	50.98	35.56	0.28	0.14	0.01	0.07	0.1033	150.00
سمنان Semnan	1145	219.79	82.85	3.37	3.11	0.05	0.13	0.31	0.026	168.48
تهران Tehran	1274	84.14	30.60	15.50	0.43	0.04	-	0.04	-	115.67
گلستان Golestan	2019	174.52	99.49	40.03	0.59	0.32	0.40	0.74	0.0636	150.32
قزوین Qazvin	850	112.56	21.17	16.48	-	0.16	0.02	-	-	133.49

اردبیل Ardabil	2154	137.46	23.18	21.42	-	-	0.22	0.46	0.0813	136.33
قم Qom	413	95.65	42.60	60.86	-	0.09	-	-	0.0652	79.01
خراسان جنوبی South Khorasan	237	31.09	3.53	3.49	-	-	-	-	-	80.52
خراسان رضوی Razavi Khorasan	485	62.16	6.62	2.69	-	-	0.04	0.02	-	122.86
خراسان شمالی North Khorasan	539	132.28	27.17	39.58	0.07	-	-	0.47	0.1735	130.34
البرز Alborz	1500	300.00	250.00	93.75	62.50	-	-	-	6.25	219.33
کل کشور Iran	1011	134.97	52.50	26.43	0.94	0.17	0.09	0.31	0.09	129.70

جدول ٤- میانگین عملکرد و مصرف نهاده‌های جو دیم در استان‌های کشور

Table 4- Average yield and consumption of inputs in dryland barley in the provinces of the country

استان Province	عملکرد Yield	بذر Seed	کود نیتروژن N fertilizer	کود فسفر P fertilizer	کود پتاسیم K fertilizer	حشره‌کش‌ها Insecticides	قارچ‌کش‌ها Fungicides	علف‌کش‌ها Herbicides	کود حیوانی Cow manure (t.ha^{-1})	سوخت دیزل Diesel (L.ha^{-1})
	(kg.ha^{-1})									
مرکزی Markazi	501	105.79	141.15	83.02	3.53	0.04	0.05	0.02	0.01	154.33
گیلان Gilan	1366	129.54	116.19	47.95	2.33	-	0.11	-	0.14	100.56
مازندران Mazandaran	2537	197.23	132.73	119.25	1.36	-	0.74	1.10	0.12	127.44
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	1081	120.91	28.16	10.22	-	-	0.07	0.15	0.12	104.57
آذربایجان غربی West Azerbaijan	1132	153.85	39.32	10.83	-	0.06	0.01	0.23	0.32	116.91
کرمانشاه Kermanshah	846	165.23	36.74	27.14	0.07	0.32	-	0.61	0.01	135.28
خوزستان Khuzestan	715	129.94	73.14	29.57	-	0.07	0.02	0.21	0.05	109.07
فارس Fars	242	146.34	12.18	5.25	-	0.01	-	0.03	0.01	82.02
کرمان Kerman	938	173.08	49.03	44.73	-	-	-	-	0.06	90.11
اصفهان Isfahan	347	72.67	38.77	9.6	-	-	0.05	0.04	0.04	64.73
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	858	61.53	-	3.84	-	-	-	-	-	56.87
کردستان Kurdistan	1150	152.52	35.8	6.79	1.46	0.02	0.08	0.03	0.53	104.96
همدان Hamadan	934	164.31	84.82	34.23	-	0.34	0.05	0.24	0.08	161.28
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	1202	152.60	107.02	15.33	-	0.05	0.03	0.35	0.12	84.86

لرستان Lorestan	946	174.47	54.99	28.06	-	0.14	0.04	0.50	0.20	128.94
ایلام Ilam	654	155.41	40.18	18.61	-	0.04	-	0.13	0.06	115.88
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	958	120.31	100.08	49.11	-	0.06	0.02	0.15	0.15	85.11
زنجان Zanjan	667	111.35	39.28	15.34	1.71	0.05	0.05	0.06	0.15	141.59
سمنان Semnan	966	196.01	37.5	0.0001	-	-	-	0.11	-	157.55
تهران Tehran	1272	86.54	53.14	41.52	1.66	-	-	0.07	-	101.31
گلستان Golestan	951	168.72	60.29	33.77	1.10	0.01	0.09	0.17	0.01	129.05
قزوین Qazvin	1125	104.25	25.19	18.96	-	0.05	0.05	-	-	126.92
اردبیل Ardabil	1291	130.23	12.54	9.39	-	-	0.07	0.12	-	133.27
خراسان جنوبی South Khorasan	467	75.88	11.31	5.05	-	-	0.06	-	-	71.34
خراسان رضوی Razavi Khorasan	536	123.34	2.87	1.95	-	-	-	0.02	0.05	114.13
خراسان شمالی North Khorasan	595	130.81	65.85	43.47	0.07	-	-	-	-	128.04
البرز Alborz	1407	139.54	8.72	2.9	-	0.06	0.08	0.22	0.07	152.12
کل کشور Total	866	139.54	47.33	25.89	0.26	0.06	0.22	0.08	0.07	110.53

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس مصرف هر کدام از نهاده‌ها برای تولید گندم دیم در استان‌های مختلف کشور در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد کود نیتروژن و سوخت دیزل مهم‌ترین منابع انتشار آلاینده‌ها در تولید گندم دیم بودند. بیشترین میزان انتشار آلاینده‌ها در تولید گندم دیم مربوط به استان‌های البرز، مازندران و گلستان با انتشار به‌ترتیب ۱۶۳۲، ۱۱۴۰ و ۸۶۰ کیلوگرم معادل CO_2 بود و استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و قم با انتشار به‌ترتیب ۲۰۳، ۲۷۶ و ۴۲۳ کیلوگرم معادل CO_2 کمترین میزان انتشار آلاینده در تولید گندم دیم را دارا بودند (جدول ۵). میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید گندم در فنلاند ۲۳۳۰ کیلوگرم معادل CO_2 (Rajaniemi et al., 2011)، برای گندم دوروم در ایتالیا ۱۴۸۱/۱ کیلوگرم معادل CO_2 (Alhajj Ali et al., 2017) و گندم آبی در استان اصفهان ۲۷۱۲ کیلوگرم معادل CO_2 (Khoshnevisan et al., 2013) گزارش شده است. با توجه به این که کشاورزان استان‌های خراسان شمالی، مازندران و همدان برای تولید هر هکتار گندم دیم از نهاده‌های بیشتری نسبت به سایر استان‌های کشور استفاده نمودند (جدول ۴)، لذا بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از این استان‌ها تولید شد.

در تولید جو دیم استان‌های مرکزی، همدان و مازندران با انتشار به‌ترتیب ۹۸۹، ۸۶۹ و ۷۷۵ کیلوگرم معادل CO_2 بیشترین انتشار آلایندگی را داشتند و استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و اصفهان با انتشار به‌ترتیب ۲۳۶، ۲۶۳ و ۲۹۸ کیلوگرم معادل CO_2 کمترین انتشار آلاینده در تولید جو دیم در سطح کشور را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در استان‌های مرکزی، همدان و مازندران مصرف زیاد نهاده‌های تولید به‌ویژه کود نیتروژن و سوخت دیزل می‌باشد. از طرفی، در استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و اصفهان مصرف نهاده‌ها اندک بوده و یا اصلاً مورد استفاده قرار نگرفته است (جدول ۴). لذا با توجه

به این که مصرف نهاده‌هایی مانند نیتروژن و سوخت دیزل تأثیر چشمگیری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد، تغییرات فوق بین استان‌های مختلف کشور حاصل شد. بر اساس نتایج این مطالعه در تولید گندم و جو دیم در سطح استان‌های کشور بیشتر آلاینده‌ها مربوط به انتشار درون مزرعه بوده و انتشار خارج مزرعه سهم کمتری از انتشار آلاینده‌ها را به خود اختصاص دادند. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای مزرعه یک هکتاری جو در فنلاند ۱۹۳۰ کیلوگرم معادل CO_2 (Rajaniemi et al., 2011) و در هند ۱۰۰۳ کیلوگرم معادل CO_2 (Gan et al., 2012) گزارش شده است. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید برنج در چین ۱۴۸۱/۱ کیلوگرم معادل CO_2 (Xia et al., 2016) و برای تولید برنج در ایران ۱۸۴۷/۲۶ کیلوگرم معادل CO_2 (Pishgar- Komleh et al., 2013) گزارش شده است. با توجه به نتایج این مطالعه از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحد هکتار، مشاهده می‌شود تولید گندم و جو دیم در استان‌های کشور از منظر پایداری در سطح قابل قبولی قرار دارد.

جدول ۵- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید یک هکتار گندم دیم در سطح کشور (کیلوگرم معادل CO_2)

Table 5- Greenhouse gase emission per hectare of dryland wheat (kg CO_2 eq.)

استان Province	کود نیتروژن N fertilizer	کود فسفر P fertilizer	کود پتاسیم K fertilizer	حشره‌کش‌ها Insecticides	قارچ‌کش‌ها Fungicides	علف‌کش‌ها Herbicides	کود حیوانی manure	سوخت دیزل Diesel	کل Total
مرکزی Markazi	241.42	6.95	-	2.32	0.33	1.02	58.20	544.39	854.64
گیلان Gilan	316.83	9.25	0.26	0.09	0.46	-	-	292.67	619.56
مازندران Mazandaran	607.28	15.24	3.18	2.50	4.63	4.68	-	502.93	1140.43
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	202.46	5.75	-	0.18	0.19	0.55	0.26	396.39	605.78
آذربایجان غربی West Azerbaijan	143.63	4.89	0.09	0.99	0.16	1.72	-	442.36	593.85
کرمانشاه Kermanshah	162.61	6.65	-	3.73	0.01	2.99	0.72	463.92	640.65
خوزستان Khuzestan	157.76	3.54	0.32	0.20	0.13	1.10	0.19	388.58	551.82
فارس Fars	138.21	2.68	-	0.19	0.09	0.16	0.29	353.55	495.17
کرمان Kerman	298.27	14.95	-	-	1.14	0.41	-	434.00	748.77
اصفهان Isfahan	160.77	3.04	-	0.22	0.30	0.49	-	367.12	531.94
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	-	-	-	-	-	-	-	203.11	203.11
کردستان Kurdistan	164.35	3.28	0.01	1.09	0.81	1.09	-	461.60	632.21
همدان Hamadan	216.13	5.68	-	2.38	0.35	0.58	-	596.89	822.00
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	367.80	4.81	-	0.48	0.47	1.86	0.90	330.38	706.71
لرستان Lorestan	287.93	8.46	0.03	2.04	0.21	2.88	-	458.07	759.62
ایلام Ilam	151.03	5.40	-	0.44	0.02	1.61	0.60	417.76	576.86
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	384.34	12.23	-	0.92	0.06	1.49	0.36	303.98	703.38

زنجان Zanjan	180.57	7.11	0.04	0.86	0.05	0.29	-	491.42	680.34
سمنان Semnan	293.45	0.67	0.47	0.29	0.65	1.23	1.26	551.94	849.97
تهران Tehran	108.39	3.10	0.06	0.28	-	0.17	2.33	378.92	493.25
گلستان Golestan	352.39	8.01	0.09	2.02	2.06	2.87	-	492.43	859.87
قزوین Qazvin	74.98	3.30	-	1.04	0.09	-	0.47	437.30	517.17
اردبیل Ardabil	82.10	4.28	-	-	1.10	1.81	-	446.63	535.92
قم Qom	150.89	12.17	-	0.55	-	-	0.99	258.84	423.44
خراسان جنوبی South Khorasan	12.50	0.70	-	-	0.01	-	-	263.79	277.00
خراسان رضوی Razavi Khorasan	23.45	0.54	-	0.03	0.18	0.06	-	402.50	426.76
خراسان شمالی North Khorasan	96.24	7.92	0.01	-	0.01	1.83	-	426.99	533.00
البرز Alborz	885.50	18.75	9.38	-	-	-	-	718.51	1632.13

جدول ٦- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید یک هکتار جو دیم در سطح کشور (کیلوگرم معادل CO_2)

Table 6 - Greenhouse gas emission per hectare of dryland barley (kg CO_2 eq.)

استان Province	کود نیتروژن N fertilizer	کود فسفر P fertilizer	کود پتاسیم K fertilizer	حشره‌کش‌ها Insecticides	قارچ‌کش‌ها Fungicides	علف‌کش‌ها Herbicides	کود حیوانی manure	سوخت دیزل Diesel	کل Total
مرکزی Markazi	465.51	16.60	0.53	0.26	0.23	0.08	0.30	505.57	989.09
گیلان Gilan	434.37	9.59	0.35	-	0.54	-	-	329.43	774.28
مازندران Mazandaran	325.82	23.85	0.20	0.02	3.76	4.30	-	417.50	775.45
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	115.14	2.04	-	-	0.36	0.58	-	342.56	460.69
آذربایجان غربی West Azerbaijan	135.71	2.17	-	0.36	0.07	0.90	-	382.99	522.20
کرمانشاه Kermanshah	180.37	5.43	0.01	2.03	0.02	2.37	0.44	443.16	633.83
خوزستان Khuzestan	174.94	5.91	-	0.45	0.12	0.80	-	357.32	539.55
فارس Fars	93.99	1.05	-	0.07	0.01	0.10	0.27	268.69	364.20
کرمان Kerman	159.51	8.95	-	-	-	-	-	295.20	463.65
اصفهان Isfahan	83.82	1.92	-	-	0.27	0.14	-	212.05	298.20
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	49.40	0.77	-	-	-	-	-	186.31	236.48
کردستان Kurdistan	194.45	1.36	0.22	0.14	0.39	0.11	-	343.84	540.51
همدان Hamadan	331.07	6.85	-	2.15	0.27	0.94	-	528.37	869.64
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	307.26	3.07	-	0.31	0.14	1.37	0.73	278.01	590.89
لرستان Lorestan	174.34	5.61	-	0.87	0.19	1.95	-	422.40	605.36

ایلام Ilam	224.98	3.72	-	0.27	0.01	0.50	-	379.61	609.10
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	217.41	9.82	-	0.39	0.12	0.57	-	278.82	507.12
زنجان Zanjan	55.83	0.17	-	-	-	-	-	167.02	223.01
سمنان Semnan	136.67	3.07	0.26	0.32	0.28	0.24	-	463.86	604.69
تهران Tehran	154.41	-	-	-	-	0.43	1.40	516.14	672.38
گلستان Golestan	198.09	8.30	0.25	-	-	0.26	-	331.88	538.78
قزوین Qazvin	165.11	6.75	0.17	0.09	0.46	0.68	-	422.78	596.03
اردبیل Ardabil	71.77	3.79	-	0.33	0.24	-	-	415.80	491.93
خراسان جنوبی South Khorasan	42.72	1.88	-	-	0.36	0.48	-	436.61	482.05
خراسان رضوی Razavi Khorasan	28.41	1.01	-	-	-	-	0.44	233.72	263.58
خراسان شمالی North Khorasan	97.08	0.39	-	-	0.30	0.02	-	373.89	471.67
البرز Alborz	154.40	8.69	0.01	-	-	0.08	-	419.47	582.66

نتایج مربوط به شاخص ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم در جدول ۷ نشان داده شده است. دامنه شاخص ردپای اکولوژیک از ۲/۵۷ در استان‌خراسان‌جنوبی تا ۲/۷۸ در استان البرز قابل مشاهده است. دامنه شاخص ردپای اکولوژیک برای تولید جو دیم در کشور از ۲/۵۶ در استان سیستان و بلوچستان تا ۲/۸۷ در استان البرز متغیر بود (جدول ۸). در تولید گندم و جو دیم، سهم انتشار داخل مزرعه در شاخص ردپای اکولوژیک غیرمستقیم بیش از سهم انتشار خارج از مزرعه است. یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای N_2O بوده که اثر آن در ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی ۲۹۸ برابر بیشتر از CO_2 است و کاربرد کود نیتروژن در داخل مزرعه سبب انتشار این گاز می‌شود، از طرفی، سوخت دیزل مصرف شده در طی عملیات مختلف زراعی CO_2 بیشتری نسبت به مراحل تولید و انتقال خارج از مزرعه تولید می‌کند و ضریب انتشار آلایندگی بالاتری دارد، لذا موارد فوق سبب شده تا در تولید گندم و جو دیم سهم انتشار داخل مزرعه در شاخص ردپای اکولوژیک غیرمستقیم بیش از سهم انتشار خارج از مزرعه شود.

جدول ۷- شاخص ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم در سطح کشور

Table 7- Ecological footprint of rainfed wheat production in the Iran

استان Province	ردپای CO_2 خارج مزرعه EF CO_2 off farm (Gha)	ردپای CO_2 داخل مزرعه EF CO_2 on farm (Gha)	ردپاCO_2 EF CO_2	ردپای اکولوژیک EF (Gha)
مرکزی Markazi	0.04	0.14	0.19	2.70
گیلان Gilan	0.04	0.10	0.14	2.65
مازندران Mazandaran	0.08	0.17	0.25	2.76
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	0.03	0.10	0.13	2.64
آذربایجان غربی West Azerbaijan	0.03	0.10	0.13	2.64
کرمانشاه Kermanshah	0.04	0.11	0.14	2.65

خوزستان Khuzestan	0.03	0.09	0.12	2.63
فارس Fars	0.03	0.08	0.11	2.62
کرمان Kerman	0.05	0.12	0.17	2.68
اصفهان Isfahan	0.03	0.09	0.12	2.63
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	0.01	0.04	0.04	2.55
کردستان Kurdistan	0.03	0.11	0.14	2.65
همدان Hamadan	0.04	0.14	0.18	2.69
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	0.05	0.11	0.16	2.67
لرستان Lorestan	0.05	0.12	0.17	2.68
ایلام Ilam	0.03	0.10	0.13	2.64
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	0.05	0.11	0.16	2.67
زنجان Zanjan	0.04	0.11	0.15	2.66
سمنان Semnan	0.05	0.14	0.19	2.70
تهران Tehran	0.02	0.08	0.11	2.62
گلستان Golestan	0.05	0.14	0.19	2.70
قزوین Qazvin	0.02	0.09	0.11	2.62
اردبیل Ardabil	0.03	0.09	0.12	2.63
قم Qom	0.03	0.07	0.09	2.60
خراسان جنوبی South Khorasan	0.01	0.05	0.06	2.57
خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.02	0.08	0.09	2.60
خراسان شمالی North Khorasan	0.03	0.09	0.12	2.63
البرز Alborz	0.11	0.25	0.36	2.87

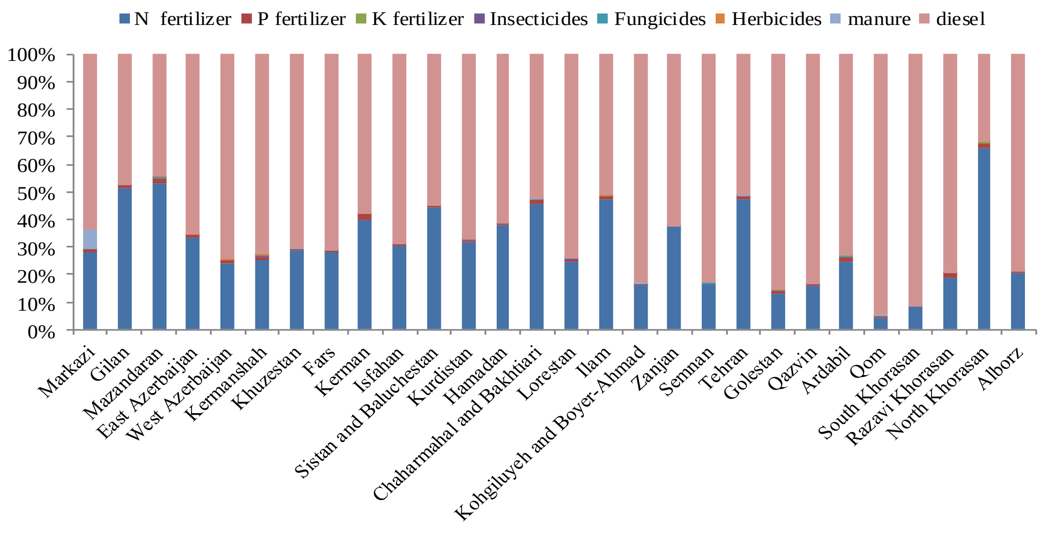
جدول ۸- شاخص ردپای اکولوژیک تولید جو دیم در سطح کشور

Table 8- Ecological footprint of rainfed barley production in the Iran

Province	ردپای CO_2 خارج مزرعه EF CO_2 off farm (Gha)	ردپای CO_2 داخل مزرعه EF CO_2 on farm (Gha)	ردپاCO_2 EF CO_2	ردپای اکولوژیک EF (Gha)
مرکزی Markazi	0.06	0.16	0.22	2.73
گیلان Gilan	0.06	0.12	0.17	2.68
مازندران Mazandaran	0.03	0.14	0.17	2.68
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	0.03	0.08	0.10	2.61
آذربایجان غربی West Azerbaijan	0.03	0.09	0.12	2.63
کرمانشاه Kermanshah	0.04	0.10	0.14	2.65
خوزستان Khuzestan	0.02	0.10	0.12	2.63
فارس Fars	0.03	0.05	0.08	2.59
کرمان Kerman	0.03	0.08	0.10	2.61
اصفهان Isfahan	0.01	0.06	0.07	2.58
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	0.02	0.03	0.05	2.56
کردستان Kurdistan	0.04	0.08	0.12	2.63
همدان Hamadan	0.06	0.14	0.19	2.70
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	0.03	0.10	0.13	2.64
لرستان Lorestan	0.03	0.10	0.13	2.64
ایلام Ilam	0.05	0.09	0.13	2.64
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	0.01	0.10	0.11	2.62
زنجان Zanjan	0.03	0.10	0.13	2.64
سمنان Semnan	0.04	0.11	0.15	2.66
تهران Tehran	0.03	0.09	0.12	2.63
گلستان Golestan	0.03	0.11	0.13	2.64
قزوین Qazvin	0.02	0.09	0.11	2.62
اردبیل Ardabil	0.02	0.09	0.11	2.62
خراسان جنوبی South Khorasan	0.01	0.05	0.06	2.57
خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.03	0.07	0.10	2.61
خراسان شمالی North Khorasan	0.02	0.11	0.13	2.64
البرز Alborz	0.03	0.09	0.13	2.64

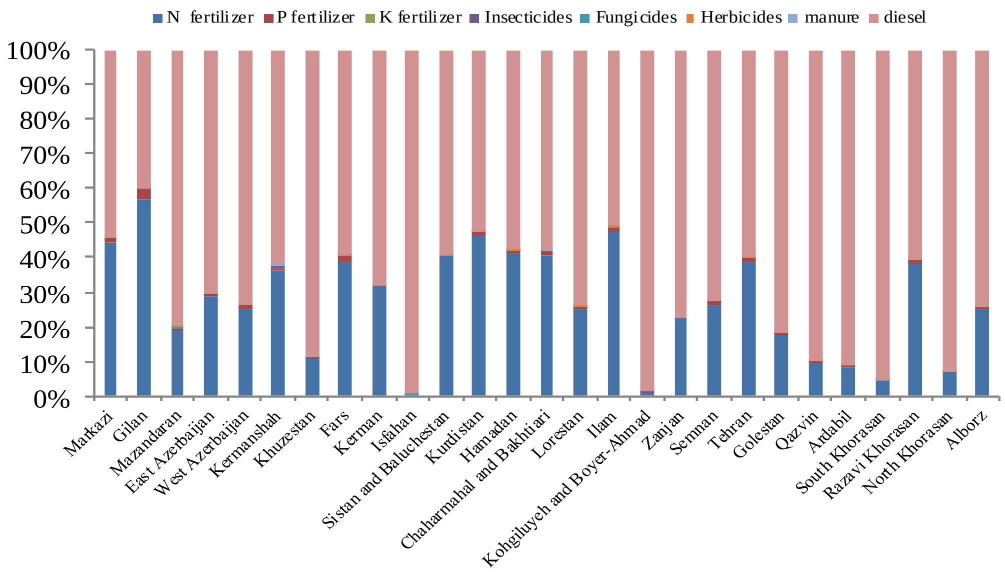
سـهم هـر کـدام از نهـادههـا در شـاخص ردپـای اکولوژیـک دو محصول گندم و جو دیم در شکلهای ۲ و ۳ نشان داده شـده اسـت. همـانطـور کـه مشـاهده مـیشـود قسـمت اعظـم شـاخص ردپـای غیرمستقیم به انتشار آلایندههای حاصـل از مصـرف کـود نیـتروژن و سوخت دیزل مربوط میشود. نتایج گزارشهای برخی محققان حاکی از این است که سوخت دیزل و کودهای شیمیایی از مهمتـرین منـابع انتشار آلایندههای بخش کشاورزی میباشند (Mohammadi et al., 2013; Pishgar- Komleh et al., 2013). در کشـور لیتـوانی کـود حیوانی بهعنوان مهمترین نهاده در انتشار گازهای گلخانهای در تولیـد گندم و جو گزارش شده است (Šarauskis et al., 2019). در برخـی از مطالعات در بخش کشاورزی نیز از الکتریسته بهعنـوان مهـمتـرین عامل انتشار گازهای گلخانهای نام برده شده است که در این مطالعات عمدتاً مصرف الکتریسته به خاطر پمپ آبهای زیرزمینی و انتقال آب به مزارع بوده که این مسئله در کشت دیـم وجـود نـدارد (Nabavi- Pelesaraei et al., 2014; Martin- Gorriz et al., 2014 ; Esfahani et al., 2017).

شاخص ردپای اکولوژیک گندم دیم برحسـب واحـدهای مختلـف کارکردی در جدول ۹ نشان داده شده است. بر ایـن اسـاس، مشـاهده میشود که برای تولید یک تن محصول گندم دیم از استان مازنـدران با شاخص ۰/۷۵ هکتار جهانی تا استان خراسـان جنـوبی بـا شـاخص ۱۰/۸۵ هکتار جهانی متغیر است. مقایسه شاخص ردپای اکولوژیک بر اساس واحدهای متفـاوت کـارکردی نشـان داد کـه هـر چنـد اسـتان خراسان جنـوبی از نظـر شـاخص کلـی ردپـای اکولوژیـک از جایگـاه مناسبی در کشور برخوردار است، ولی بر اساس عملکرد، تولید یک تن گندم دیم در این استان از منظر پایـداری زیسـتمحیطـی در شـرایط مطلوبی قرار نـدارد. از منظـر درآمـد، شـاخص ردپـای اکولوژیـک در استانهای مازندران، اردبیل، گلستان، کرمان و البرز در جایگاه بهتری نسبت به کل کشور قرار داشت. بـه ایـن معنـی کـه کشـاورزان ایـن استانها برای کسب ده هزار ریال درآمد از تولید گندم دیـم در سـطح پایدارتری در کل کشور قرار دارند. در صورتی که سود خالص را مبنای واحد کارکردی قرار دهیم، استانهـای مازنـدران، اردبیـل، آذربایجـان غربی و تهران ده هزار ریال سود خالص از تولید گندم دیم را بهصورت پایدارتری کسب میکنند. تفاوت میان شاخص ردپـای اکولوژیـک بـر مبنای درآمد و سود، از مدیریت هزینههای ناشی شود. به همین جهت در صورتی که استانهایی مثل گلستان و کرمـان، مـدیریت بیشـتری نسبت به هزینهها داشته باشند، میتواننـد از منظـر کسـب سـود نیـز جایگاه مناسبی در شاخص ردپای اکولوژیـک کسـب کننـد. در برخـی استانها نیز مثل خراسـان جنـوبی، همـدان، خوزسـتان و فـارس نیـز هرچند جایگاه مناسبی از نظر پایداری در سـطح کشـور داشـتند، ولـی بهعلت عدم مدیریت هزینهها، سود آنها منفی شده و شاخص ردپـای اکولوژیک برحسب سود نیز در این استانها منفی بهدست آمد.



شکل ۲- سهم هر کدام از نهادهها در شاخص ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم

Fig. 2- The share of each input in the ecological footprint index of dryland wheat production



شکل ۳- سهم هرکدام از نهاده‌ها در شاخص ردپای اکولوژیک تولید جو دیم

Fig. 3- The share of each input in the ecological footprint index of dryland barley production

جدول ۹- شاخص ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم بر اساس واحدهای مختلف کارکردی

Table 9- Multy-functional Ecological footprint of rainfed wheat based on different functional units

استان **Province**	ردپای عملکرد **EF yield (Gha.ton^{-1})**	ردپای درآمد **EF revenue (Gha.1000T^{-1})**	ردپای سود **EF benefit (Gha.1000T^{-1})**
مرکزی Markazi	2.88	0.02	0.07
گیلان Gilan	2.12	0.02	0.26
مازندران Mazandaran	0.75	0.01	0.02
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	2.41	0.02	0.05
آذربایجان غربی West Azerbaijan	1.87	0.02	0.04
کرمانشاه Kermanshah	2.90	0.02	0.12
خوزستان Khuzestan	3.69	0.03	-0.17
فارس Fars	5.38	0.04	-0.33
کرمان Kerman	1.79	0.01	0.05
اصفهان Isfahan	3.40	0.03	0.11
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	3.26	0.02	1.67
کردستان Kurdistan	3.00	0.02	0.09
همدان Hamadan	3.91	0.03	-0.86

چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	2.34	0.02	0.09
لرستان Lorestan	2.19	0.02	0.05
ایلام Ilam	4.73	0.04	-0.69
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	2.40	0.02	0.08
زنجان Zanjan	2.91	0.02	0.13
سمنان Semnan	2.36	0.02	0.06
تهران Tehran	2.06	0.02	0.04
گلستان Golestan	1.34	0.01	0.06
قزوین Qazvin	3.09	0.03	0.09
اردبیل Ardabil	1.22	0.01	0.02
قم Qom	6.30	0.05	-0.92
خراسان جنوبی South Khorasan	10.85	0.07	-0.53
خراسان رضوی Razavi Khorasan	5.37	0.04	0.11
خراسان شمالی North Khorasan	4.87	0.04	-0.08
البرز Alborz	1.91	0.01	0.08

ردپای اکولوژیک کارکردی تولید جو دیم نشان می‌دهد که استان‌های فارس، اصفهان و خراسان جنوبی در نامطلوب‌ترین شرایط پایداری برای تولید یک تن جو دیم قرار دارند؛ به عبارت دیگر، در این استان‌ها به‌ترتیب نیازمند ۱۰/۷، ۷/۴۲ و ۵/۵ هکتار جهانی زمین بهره‌ور زیستی هست تا بتوان یک تن جو تولید کرد و ضایعات حاصل از آن را نیز جذب کرد. استان‌های مازندران، البرز و گیلان نسبت به سایر استان‌ها یک تن جو دیم را در شرایط مطلوب‌تری از منظر پایداری تولید می‌کنند. کسب هزار تومان درآمد از تولید جو دیم در استان‌های مازندران، تهران و گیلان نسبت به سایر نقاط کشور در وضعیت زیست‌محیطی پایدارتری حاصل می‌شود (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- شاخص ردپای اکولوژیک تولید جو دیم بر اساس واحدهای مختلف کارکردی

Table 10- Multy-functional Ecological footprint of rainfed barley based on different functional units

استان Province	ردپای عملکرد EF yield (Gha.ton^{-1})	ردپای درآمد EF revenue (Gha.1000^{-1})	ردپای سود EF benefit (Gha.1000T^{-1})
مرکزی Markazi	5.45	0.05	1.23
گیلان Gilan	1.96	0.01	0.05
مازندران Mazandaran	1.06	0.01	0.12

آذربایجان شرقی East Azerbaijan	2.42	0.02	0.07
آذربایجان غربی West Azerbaijan	2.32	0.02	0.12
کرمانشاه Kermanshah	3.13	0.03	0.22
خوزستان Khuzestan	3.68	0.03	-0.16
فارس Fars	10.70	0.09	-0.10
کرمان Kerman	2.78	0.02	0.08
اصفهان Isfahan	7.42	0.06	-0.21
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	2.99	0.02	0.09
کردستان Kurdistan	2.29	0.02	0.11
همدان Hamadan	2.89	0.03	-0.44
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	2.20	0.02	0.11
لرستان Lorestan	2.79	0.03	0.09
ایلام Ilam	4.04	0.03	0.20
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	2.74	0.02	0.16
زنجان Zanjan	3.96	0.04	-0.28
سمنان Semnan	2.75	0.02	0.09
تهران Tehran	2.07	0.01	0.03
گلستان Golestan	2.78	0.03	-1.03
قزوین Qazvin	2.33	0.02	0.06
اردبیل Ardabil	2.03	0.02	0.04
خراسان جنوبی South Khorasan	5.50	0.05	2.86
خراسان رضوی Razavi Khorasan	4.88	0.05	0.20
خراسان شمالی North Khorasan	4.43	0.04	-0.08
البرز Alborz	1.88	0.02	0.05

نتایج همبستگی شاخص ردپـای اکولوژیـک و ردپـای اکولوژیـک برحسب عملکرد و سود نشان داد که بین ردپای اکولوژیک تولید گندم و جو دیم در استان‌های کشور در سطح یک درصد رابطـه معنـی‌داری وجود داشت (جدول ۱۱). همچنین بین شـاخص ردپـای اکولوژیـک و شاخص ردپـای اکولوژیـک برحسـب عملکـرد در گنـدم دیـم رابطـه معنی‌دار در سطح پنج درصد مشاهده شد، ولی این رابطه در مورد جـو دیم معنی‌داری نبود (جدول ۱۱). علت آن این است که کاربرد نهـاده‌های بیشتر برای تولید گندم دیم در سطح استان‌های کشور هـر چنـد ناپایداری را افزایش داده است، ولی سبب افزایش عملکـرد نیـز شـده است، ولی در تولید جو دیم کاربرد این نهاده‌هـا تنهـا سـبب افـزایش ناپایداری شده و تأثیر معنی‌داری در افـزایش عملکـرد نداشـته اسـت. همچنین عدم وجود ارتباط معنی‌دار بین شاخص ردپای اکولوژیک بـر مبنای عملکرد با شاخص ردپای اکولوژیک بر مبنـای سـود اقتصـادی نشان می‌دهد که لزوماً افزایش عملکرد محصول، افـزایش سـودآوری در تولید دو محصول گندم و جو دیم را به دنبال نداشته است (جـدول ۱۱).

جدول ۱۱- ضرایب همبستگی شاخص ردپای اکولوژیک بر مبنای واحدهای کارکردی متفاوت

Table 11- Correlation coefficients of ecological footprint index based on different functional units

صفت	1	2	3	4	5	6
۱- ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم بر مبنای عملکرد 1- Ecological footprint of rainfed wheat production based on yield	1	-0.256	-0.436*	0.800**	-0.011	-0.244
۲- ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم بر مبنای سود 2- Ecological footprint of rainfed wheat production based on profit		1	-0.014	-0.204	0.149	0.133
۳- ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم 3- Ecological footprint of wheat production			1	-0.330	-0.067	0.652**
۴- ردپای اکولوژیک تولید جو دیم بر مبنای عملکرد 4- Ecological footprint of rainfed barley production based on yield				1	-0.047	-0.276
۵- ردپای اکولوژیک تولید جو دیم بر مبنای سود 5- Ecological footprint of rainfed barley production based on profit					1	0.182
۶- ردپای اکولوژیک تولید جو دیم 6- Ecological footprint of barley production						1

** و *: به‌ترتیب به‌مفهوم معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

** and *: are significant at 1 and 5% probability levels, respectively

مطالعات زیادی در زمینه تولید غلات دیم و همچنین سایر محصولات کشاورزی که ردپای اکولوژیک را بر مبنای ارزیابی چرخه حیات و نوع عملیات زراعی داخل مزرعه انجام داده باشند وجود ندارد تا بتوان با مقایسه نتایج به تصویر شفاف‌تری در مورد پایداری تولید دست یافت. لذا به‌منظور بررسی جایگاه پایداری تولید غلات نتایج این مطالعه با نتایج سایر مطالعاتی که در بخش کشاورزی صورت گرفته مقایسه شده است. نتایج مطالعه‌ای که پایداری ذرت علوفه‌ای در شهرستان سرایان را بررسی کرده بود، نشان داد ردپای اکولوژیک برای تولید یک تن ذرت علوفه‌ای در شرایط جاری و بهینه تولید ۰/۰۸۴ و ۰/۰۸۳ هکتار جهانی است. همچنین برای ایجاد ۱۰۰۰ دلار درآمد از تولید ذرت علوفه‌ای نیازمند ۱/۶۴ هکتار جهانی زمین بهره‌وری زیستی هستیم (Esfahani et al., 2017). شاخص ردپای اکولوژیک برای تولید گندم در استان همدان به‌ترتیب ۲/۸۴ و ۲/۹۶ هکتار جهانی برای سیستم کشت حفاظتی[1] و کشت متعارف[2] گزارش شده است (Naderi Mahdei et al., 2015). ردپای اکولوژیک برای تولید یک هکتار انگور ۳/۲۱ هکتار جهانی به‌دست آمده است (Niccolucci et al., 2008). در تحقیقی، میزان ردپای اکولوژیک برای تولید یک تن شلیل در ایتالیا را ۱/۳۴ هکتار جهانی گزارش شد (Cerutti et al., 2010). در تحقیقی دیگر، میزان شاخص ردپای اکولوژیک برای سه محصول سیب، زردآلو و کیوی را به‌ترتیب ۱/۵۷، ۱/۶۱ و ۳/۰۵ هکتار جهانی برحسب یک تن محصول محاسبه شده است (Cerutti et al., 2013). میانگین شاخص ردپای اکولوژیک غیرمستقیم زعفران ۰/۲ هکتار جهانی گزارش شده است که ۰/۰۷ به انتشار داخل مزرعه و ۰/۱۳ به انتشار خارج مزرعه مربوط می‌شد (Esfahani & Khazaee, 2019).

مقایسه شاخص ردپای اکولوژیک برای تولید غلات دیم با سایر محصولات کشاورزی که در نقاط مختلف ایران و جهان انجام شده است، نشان می‌دهد که از نظر کلی، تولید غلات دیم نسبت با سایر محصولات کشاورزی در سطح پایدارتری قرار دارد ولی، به‌منظور مقایسه کاربردی‌تر و تفسیرپذیر تر بهتر است ردپای اکولوژیک بر مبنای واحدهای مختلف کارکردی مقایسه شود. درصورتی‌که عملکرد مبنای محاسبه ردپای اکولوژیک قرار داده شود، در این صورت در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی، تولید یک تن گندم و جو دیم در سطح کشور در وضعیت ناپایدارتری قرار دارد. بر این اساس هرچند به‌صورت کلی مزارع گندم آبی ناپایدارتر هستند، ولی به نظر می‌رسد تولید یک تن گندم به‌صورت آبی از کشت دیم از وضعیت پایدارتری برخوردار است.

نتیجه‌گیری

مقایسه شاخص ردپای اکولوژیک و بررسی میزان همبستگی بین آن‌ها نشان داد که افزایش مصرف نهاده‌های خارجی در تولید گندم دیم توانسته عملکرد را افزایش دهد، ولی در تولید جو دیم تأثیر در افزایش عملکرد نداشته است. بر اساس نتایج این مطالعه مشخص شد که اگر چه استفاده از نهاده‌های شیمیایی سبب افزایش عملکرد محصول شده است، ولی منجر به سودآوری بیشتر نشده است. لازم به توضیح است که همیشه افزایش عملکرد افزایش سودآوری را به دنبال نداشته و در برخی موارد، هزینه استفاده از نهاده‌های کشاورزی بیشتر از درآمد حاصل از افزایش عملکرد متناسب با هزینه انجام شده است، در چنین مواردی به اصطلاح اقتصادی هزینه نهایی بیشتر از ارزش تولید نهایی شده و لازم است تا در مصرف نهاده صرفه‌جویی شود؛ بنابراین، تخصیص مجدد نهاده‌ها کشاورزی بر اساس معیارها و مطالعات اقتصادی مربوط به هر منطقه می‌تواند علاوه‌بر کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی به افزایش سودآوری کشاورزان نیز منجر شود. در این زمینه باید این نکته را مدنظر قرار داد که استفاده مطلوب از نهاده‌های شیمیایی می‌تواند سبب افزایش پایداری شود. به‌عنوان نمونه استان مازندران در تولید گندم دیم از بسیاری از نهاده‌های شیمیایی بالاتر از میانگین کل کشور استفاده کرده است، ولی با مدیریت صحیح و عملکرد بالا توانسته یک تن گندم دیم را در شرایط پایدارتری نسبت به کل کشور تولید کند و در طرف مقابل، استان خراسان جنوبی قرار دارد که با وجود مصرف کم نهاده‌های شیمیایی در تولید گندم دیم، از نظر شاخص ردپای اکولوژیک بر حسب میزان تولید در جایگاه مطلوبی قرار ندارد. از طرفی، بر اساس شاخص ردپای اکولوژیک استان‌های مازندران و البرز در وضعیت مطلوبی از منظر پایداری قرار ندارند، ولی بر اساس شاخص ردپای اکولوژیک بر حسب عملکرد وضعیت این استان‌ها در تولید یک تن گندم دیم نسبت به سایر استان‌ها مطلوب‌تر است که مقایسه این دو شاخص نشان دهنده

1- Conservation
2- Conventional

استفاده بهینه این استان‌ها از نهاده‌ها و عملکرد بالاتر نسبت به‌میزان آلایندگی زیست‌محیطی در مقایسه با سایر نقاط کشور است. مدیریت هزینه یکی از ارکان اصلی و مهم در جهت افزایش سودآوری تولید غلات دیم در سطح کشور است. لذا برای افزایش پایداری تولید غلات دیم در سطح کشور، جدا از برنامه‌ریزی برای افزایش عملکرد، سیاست‌گذاری در جهت استفاده کارآمد از منابع و کاهش هزینه‌های تولید باید به‌عنوان یک پایه اصلی در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری تولید مورد توجه قرار گیرد.

References

Ahmadi, K., Abadzadeh, H., Abdashah, H., Kazemian, A., and Rafiee, M., 2018. Agricultural Statistics (Crop year 2016-2017). Ministry of Agriculture Jihad Publications. Available at: Web site http:// https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnamehj1-95-96-site.pdf. (In Persian)

Alam, M.M., Murad, M.W., Noman, A.H.M., and Ozturk, I., 2016. Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. Ecological Indicators 70: 466–479.

Alhajj Ali, S., Tedone, L., Verdini, L., and De Mastro, G., 2017. Effect of different crop management systems on rainfed durum wheat greenhouse gas emissions and carbon footprint under Mediterranean conditions. Journal of Cleaner Production 140: 608-621.

Aşıcı, A.A., and Acar, S., 2018. How does environmental regulation affect production location of non−carbon ecological footprint? Journal of Cleaner Production 178: 927–936.

Bilgili, F., and Ulucak, R., 2018. Is there deterministic, stochastic, and/or club convergence in ecological footprint indicator among G_{20} countries? Environmental Science and Pollution Research 25(35): 35404–35419.

Bilgili, F., Ulucak, R., and Koçak, E., 2019. Implications of Environmental Convergence: Continental Evidence Based on Ecological Footprint. In M. Shahbaz and D. Balsalobre (Eds.), Energy and Environmental Strategies in the Era of Globalization. Springer International Publishing, Switzerland .p.133-165..

Cerutti, A.K., Bagliani, M., Beccaro, G.L., and Bounous, G., 2010. Application of ecological footprint analysis on nectarine production: methodological issues and results from a case study in Italy. Journal of Cleaner Production 18(8): 771-776.

Cerutti, A.K., Beccaro, G.L., Bagliani, M., Donno, D., and Bounous, G., 2013. Multifunctional ecological footprint analysis for assessing eco-efficiency: A case study of fruit production systems in Northern Italy. Journal of Cleaner Production 40: 108-117.

Colombo, U., 2001. The Club of Rome and sustainable development. Futures 33(1):7–11.

Danish Baloch, M.A., and Wang, B., 2019. Analyzing the role of governance in CO_2 emissions mitigation: The BRICS experience. Structural Change and Economic Dynamics 51: 119-125.

Danish, A., and Wang, Z., 2019. Investigation of the ecological footprint's driving factors: What we learn from the experience of emerging economies. Sustainable Cities and Society 49: 101626. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101626

Destek, M.A., and Sinha, A., 2020. Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic Co-operation and development countries. Journal of Cleaner Production 242: 118537.

Esfahani, S., and Khazaee, J., 2019. Application of multifunctional ecological footprint in sustainability analysis of saffron production in southern Khorasan. Saffron Agronomy and Technology 7(4): 491-503. (In Persian with English Summary)

Esfahani, S.M.J., Naderi Mahdei, K., Saadi, H., and Dourandish, A., 2017. Efficiency and sustainability of silage corn production by data envelopment analysis and multi-functional ecological footprint: Evidence from Sarayan County, Iran. Journal of Agricultural Science and Technology 19 (Supplementary Issue), 1453-1468. Retrieved from http://jast.modares.ac.ir/article_18026_f69b88799547729b2e0e0958262da232.pdf. (In Persian with English Summary)

Galli, A., Halle, M., and Grunewald, N., 2015. Physical limits to resource access and utilisation and their economic implications in Mediterranean economies. Environmental Science and Policy 51: 125-136.

Gan, Y., Liang, C., Mar, W., Malhi, S., Niu, J., and Wang, X., 2012. Carbon footprint of spring barley in relation to

preceding oilseed and N fertilization. The International Journal of Life Cycle Assessment 17(5): 635-645.

González-Vallejo, P., Marrero, M., and Solís-Guzmán, J., 2015. The ecological footprint of dwelling construction in Spain. Ecological Indicators 52: 75-84.

Houshyar, E., Dalgaard, T., Tarazkar, M.H., and Jorgensen, U., 2015. Energy input for tomato production what economy says, and what is good for the environment. Journal of Cleaner Production 89: 99-109.

Huijbregts, M.A.J., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hungerbühler, K., and Hendriks, A.J., 2008. Ecological footprint accounting in the life cycle assessment of products. Ecological Economics 64(4): 798-807.

Karimi, V., Sadrabadi Haghighi, R., Bazregar, A.B., and Dargahi, M., 2018. Energy efficiency comparison of potato (*Solanum tuberosum* L.) production in different irrigation methods in Jolgeh Rokh Torbat Heidarieh Region. Agroecology 11(3): 859-876. (In Persian with English Summary)

Khoshnevisan, B, Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., and Movahedi, M., 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. Energy 52: 333-338.

Martin-Gorriz, B., Soto-García, M., and Martínez-Alvarez, V., 2014. Energy and greenhouse-gas emissions in irrigated agriculture of SE (southeast) Spain. Effects of alternative water supply scenarios. Energy 77: 478-488.

Mohammadi, A, Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H., and Nonhebel, S., 2014. Energy use efficiencyand greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews 30: 724-733.

Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Dalgaard, T., Knudsen, M.T., Keyhani, A., and Hermansen, J.E., 2013. Potential greenhouse gas emission reductions in soybean farming: A combined use of life cycle assessment and data envelopment analysis. Journal of Cleaner Production 54: 89-100.

Monfreda, C., Wackernagel, M., and Deumling, D., 2004. Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments. Land Use Policy 21: 231-246.

Moore, J., Kissinger, M., and Rees, W.E., 2013. An urban metabolism and ecological footprint assessment of Metro Vancouver. Journal of Enviromental Management 124: 51-61.

Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S., and Mobtaker, H.G., 2014. Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach. Journal of Cleaner Production 65: 311-317.

Naderi Mahdei, K., Bahrami, A., Aazami, M., and Sheklabadi, M., 2015. Assessment of agricultural farming systems sustainability in Hamedan province using ecological footprint analysis (Case study: irrigated wheat). Journal of Agricultural Science and Technology 17(6): 1409-1420. (In Persian with English Summary)

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Khorramdel, S., 2019. Temporal trends of ecological footprint of foodstuffs in Iran and evaluation of future scenarios. Journal of Agroecology 10(4):1035-1050. (In Persian with English Summary)

NF, A., 2017. Working guidebook to the national footprint accounts global footprint network report (2016 edition). 73. (April), Retrieved from http://www.footprintnetwork.org/ images/article_uploads/NFA2014Guidebook7-14-14.pdf.

Nguyen, T.L.T., and Hermansen, J.E., 2012. System expansion for handling co-products in LCA of sugar cane bio-energy systems: GHG consequences of using molasses for ethanol production. Applied Energy 89(1): 254-261.

Niccolucci, V., Galli, A., Kitzes, J., Pulselli, R.M., Borsa, S., and Marchettini, N., 2008. Ecological footprint analysis applied to the production of two Italian wines. Agriculture, Ecosystems and Environment 128: 162-166.

Patterson, M., McDonald, G., and Hardy, D., 2017. Is there more in common than we think? Convergence of ecological foot printing, emergy analysis, life cycle assessment and other methods of environmental accounting. Ecological Model 362: 19-36.

Pishgar-Komleh, S.H., Omid, M., and Heidari, M.D., 2013. On the study of energy use and GHG (greenhouse gas) emissions in greenhouse cucumber production in Yazd province. Energy 59: 63-71.

Rajaniemi, M., Mikkola, H., and Ahokas, J., 2011. Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rye production. Agronomy Research 9(1): 189-195.

Rashid, A., Irum, A., Malik, I.A., Ashraf, A., Rongqiong, L., Liu, G., and Yousaf, B., 2018. Ecological footprint of Rawalpindi; Pakistan's first footprint analysis from urbanization perspective. Journal of Cleaner Production 170: 362-368.

Šarauskis, E., Masilionytė, L., Juknevicius, D., Buragienė, S., and Kriauciuniene, Z., 2019. Energy use efficiency, GHG emissions, and cost-effectiveness of organic and sustainable fertilisation. Energy, 172: 1151-1160.

Toth, G., and Szigeti, C., 2016. The historical ecological footprint: from over-population to overconsumption. Ecological Indicators 60: 283–291.

Ulucak, R., and Apergis, N., 2018. Does convergence really matter for the environment? An application based on club convergence and on the ecological footprint concept for the EU countries. Environmental Science and Policy 80: 21–27.

Ulucak, R., and Bilgili, F., 2018. A reinvestigation of EKC model by ecological footprint measurement for high, middle and low income countries. Journal of Cleaner Production 188: 144-157.

Vafabakhsh, J., and Mohammadzadeh, A., 2019. Energy flow and GHG emissions in major field and horticultural crop production systems (Case study: Sharif Abad plain). Agroecology 11(2): 365-382. (In Persian with English Summary)

WWF., 2012. Turkey's ecological footprint report. Retrieved from: https://www.footprintnetwork.org/content/images/article_uploads/Turkey_Ecological_Footprint_Report_Turkish.pdf.

Xia, L., Xia, Y., Ma, S., Wang, J., Wang, S., Zhou, W., and Yan, X., 2016. Greenhouse gas emissions and reactive nitrogen releases from rice production with simultaneous incorporation of wheat straw and nitrogen fertilizer. Biogeosciences 13(15): 4569-4579.

Zafar, M.W., Zaidi, S.A.H., Khan, N.R., Mirza, F.M., Hou, F., and Kirmani, S.A.A., 2019. The impact of natural resources, human capital, and foreign direct investment on the ecological footprint: The case of the United States. Resources Policy 63: 101428.